

**С.Н. Ходоров**

# **ГЕОДЕЗИЯ - это очень просто**

**Введение  
в специальность**



Инфра-Инженерия

УДК 528  
ББК 26.12  
Х69

**Ходоров, С. Н.**

**Х69** Геодезия – это очень просто. Введение в специальность : учебное пособие / С. Н. Ходоров. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 176 с.  
ISBN 978-5-9729-0515-7

Книга прежде всего предназначена для молодых людей, которые стоят на перепутье выбора профессии. Именно для них в простой, доступной и популярной форме повествуется об основах системы знаний, называемой геодезией. В то же время эта книга не для «чайников», которым важно быстро и выборочно выхватить фрагмент какой-то информации. Она ориентирована на серьезного читателя, заинтересованного открыть для себя новую инженерную дисциплину.

При всей контактности, демократизме и непринужденности изложения начал геодезии автор не нарушал научных и инженерных принципов интерпретации данных, являющихся предметом рассмотрения этой книги. Основное внимание было уделено разъяснению магистральной составляющей предмета геодезии – методологии создания топографической карты.

УДК 528  
ББК 26.12

ISBN 978-5-9729-0515-7 © Ходоров С. Н., 2020  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2020  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2020

*«Геодезия представляет одну из  
полезнейших отраслей знания:  
всё наше земное существование  
ограничено пределами Земли,  
и изучать её вид и размеры  
человечеству также необходимо,  
как человеку ознакомиться  
с подробностями своего жилья».*  
(В. В. Витковский, учёный геодезист)

## ГЛАВА 1 ЧТО ТАКОЕ ГЕОДЕЗИЯ

### Определение, понятия, концепция, стратегия, тактика и философия

*Здесь комментарии излишни:  
Чтоб трассу жизни изыскать,  
Доверил нам господь всевышний  
Планету нашу измерять.*

Любая наука начинается с определения предмета, который она изучает. Но если на первой странице учебника автор стремится дать полновесное и сложное определение, он отпугивает начинающего читателя продолжать обучение. И это, как раз то, чем мне не хотелось бы заниматься. Посудите сами. В одном из уважаемых учебников по математике она определяется так: математика – это наука, основанная на решении задач о количественных и пространственных соотношениях реального мира путём идеализации необходимых для этого свойств объектов и формализации этих задач. При таком начале, мне кажется, что даже Карл Гаусс и Рене Декарт вряд ли отважились бы избрать профессию математика. А вот вам и определение предмета геодезии, взятое из одного из лучших и компетентных учебников: **геодезия** – наука об измерениях, средствах измерений и математической обработке результатов этих измерений, выполняемых для решения научных, производ-

ственных и оборонных задач: для определения формы, размеров и гравитационного поля Земли, планет и спутников Солнечной системы, для определения координат точек на поверхности Земли и в околоземном пространстве, для создания планов, карт, профилей и математических моделей местности, для выполнения инженерно-геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Самое удивительное, что в этом громоздком и более, чем пространном определении с теоретической точки зрения всё правильно и закономерно. Как говорится, из песни слов не выкинешь. А может быть при сохранении мотива изменить аранжировку мелодии. Давайте попробуем. Ведь правильная постановка задачи гарантирует как минимум половину успеха при её решении. Сосредоточимся на двух кардинальных задачах геодезии. Первая из них заключается в создании карты участка земной поверхности на основе выполненных измерений. Речь идёт о фиксации элементов местности с последующим преобразованием их в наглядное и удобное плоскостное отображение. Вторая задача является обратной вариацией первой: объекты, нанесённые на карту (это могут быть запроектированные здания, сооружения, дороги, коммуникации и т.д. и т.п.), опять-таки методами измерений переносятся на местность. В обоих случаях ключевым словом здесь является слово *измерение*. Таким образом, на первом этапе определим геодезию как науку об измерении земной поверхности. По мере углубления изучения предмета, будем дополнять это определение последующей информацией. Данная простая формулировка не надумана, она взята всего-навсего из синхронного перевода с греческого, где *geo* – это земля, а *desio* – разделяю. Действительно, геодезия зародилась в древние века, ещё до нашей эры, из потребностей землеразделения, а ещё лучше сказать, землеизмерения для разделения земельных участков.

Каждому из вас, дорогой читатель, приходилось видеть на городских улицах, лесных просеках, берегах рек или горных склонах человека, стоящего у массивного деревянного треножника, на котором возвышался, неизвестный вам, измерительный прибор. Зрительная труба этого прибора, как вы замечали, была направлена на красно-белую веху или на черно-белую шкалу специальной рейки. Вы наверняка догадывались, что происходит загадочный, в некоторой мере, таинственный процесс измерений. И выполняется этот процесс, соглас-

но нашему определению, на земной поверхности. Однако не совсем понятно и, более того, совсем не очевидно, что собой представляет эта поверхность в графическом изображении с точки зрения математики. Я подвожу тебя, дорогой коллега, к риторическому и совсем непростою вопросу: а что собственно представляет собой фигура нашей замечательной голубой планеты. Этот вопрос в геодезии считается действительно краеугольным и фундаментальным, поскольку карты, которые являются конечной продукцией геодезических работ, с одной стороны, и непосредственные измерения на местности, с другой стороны, выполняются, как правило, в разных отсчётных блоках. И если мы абсолютно уверены в том, что карта однозначно представляет собой плоскость, то пока неизвестно, что представляет собой поверхность, на которой мы производим измерения. А это крайне важно знать, а ещё лучше, понимать для правильного и необходимого перехода от одного блока к другому. Не надо пугаться, это совсем не так сложно, как полагают студенты геодезического факультета, когда сдают экзамен по «теории фигуры Земли».

Итак, начинаем разбираться. То, что Земля является не плоскостью, а шаром, нам известно ещё со школьной скамьи. А теперь о том, что неизвестно. Оказывается, истинной моделью Земли *в самом точном и в самом первом приближении* принято считать не идеальный шар, а фигуру, которая называется **геоид**. Чтобы понять, что такое геоид, давайте представим себе поверхность Мирового океана и сообщающихся с ним морей в состоянии полного покоя и равновесия, т.е. в отсутствии приливов, отливов, течений, разностей атмосферных давлений и т.п. Другими словами, у нас получится фигура, которая представляет собой бесконечную поверхность океана, без материков и островов. И если мы мысленно продлим эту поверхность под материками и находящимися на них горами, хребтами, плоскогорьями, возвышенностями и равнинами, то получим поверхность одного и того же уровня, которая и будет представлять собой геоид. Поскольку высота в любой точке геоида равна нулю (ведь по сути это уровень моря или океана), именно от геоида было предложено исчислять высоты точек поверхности Земли. Теперь вы знаете, что все высоты точек, помеченные на топографической карте, есть не что иное, как *геоидальные высоты*. Но это я уже бегу впереди паровоза, который не спеша везёт нас к станции под названием *геоде-*

зия. О высотах мы поговорим гораздо позже, по мере более глубокого погружения в изучаемый курс. В принципе, геоид представляет собой что-то не совсем круглое и сплюснутое у полюсов, что не представляется возможным описать математическими формулами, как, например, куб, конус или квадрат. Поэтому он применяется в сугубо теоретических и научных расчётах и при составлении карт фактически не используется.

Исходя из отмеченного, для решения практических задач на поверхности Земли, в частности для картографических целей, земная поверхность *во втором приближении* представляется математически описанной геометрической фигурой, которая называется **эллипсоидом вращения** с северным и южным полюсами (рис. 1).

Этот эллипсоид имеет в общем случае три параметра (большая полуось  $a$ , малая полуось  $b$  и сжатие), подбирая которые можно в большей или меньшей степени приблизить его к геоиду (рис. 2). Как правило, каждая страна имеет свой локальный эллипсоид, параметры которого могут на несколько десятков метров отличаться друг от друга. Однако на современном этапе развития спутниковой геодезии и связанной с ней системой глобального позиционирования GPS возникла необходимость применения эллипсоида, который мог бы подходить для всей планеты в целом. Примером такого глобального эллипсоида является международный эллипсоид WGS-84. Но опять я забежал далеко вперёд, не доехав до конечной

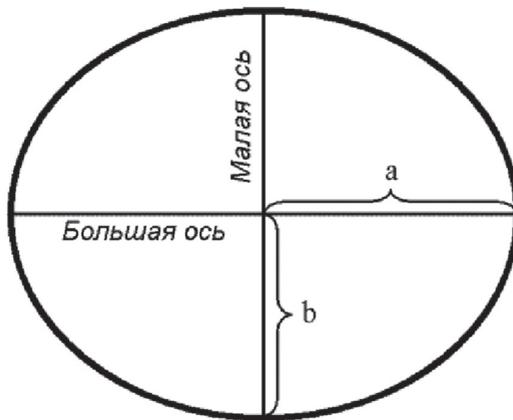


Рис. 1. Эллипсоид вращения

станции, просто современные технологии стремительно наступают на пятки, самым неожиданным образом перемишиваясь с азами геодезической науки. Но в конце-концов, доберёмся и до этих высоких технологий, а пока вернёмся к азбучным истинам, одна из которых гласит: *измеряя нашу Землю, мы находимся на поверхности эллипсоида в случае, когда территория картографируемой площади превышает площадь, равную 50 000 квадратных километров, т.е., скажем, квадрат со стороной около 225 км.*

Когда же измеряемая площадь меньше указанной выше, мы прибегаем к дальнейшему упрощению (нечего усложнять и так достаточно сложное и стрелять из пушек по воробьям) и вводим *третье приближение*, принимая ту же самую фигуру Земли за обыкновенный **шар**, как учили нас на уроках географии в незабвенной школе. Да и на самом деле, математические выкладки на поверхности шара гораздо проще, чем на поверхности эллипсоидальной. И чтобы, наконец, окончательно облегчить себе жизнь, перейдём к самому простому, *четвёртому приближению* фигуры Земли. Ведь совсем не так часто мы выполняем геодезические измерения на больших и протяжённых территориях. В большинстве случаев инженерной практики

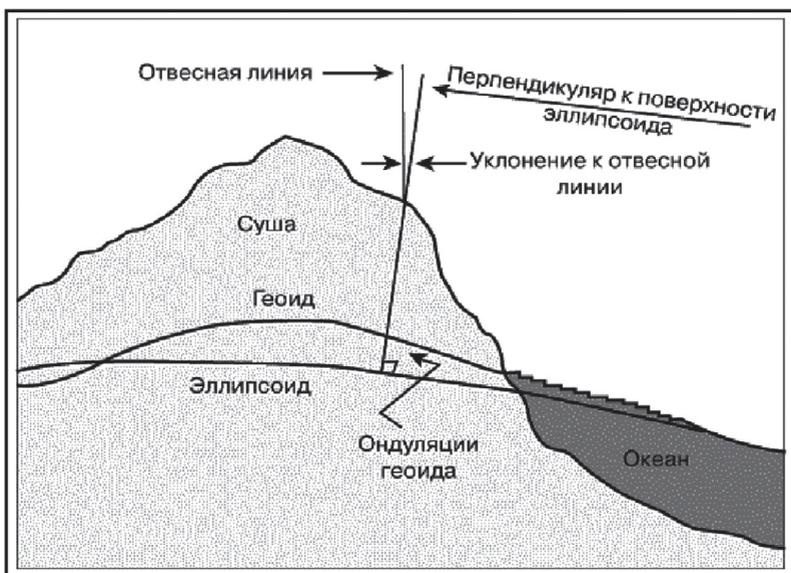


Рис. 2. Понятие о геоиде и эллипсоиде

процесс измерений происходит на строительной площадке, городском квартале или небольшом участке запроектированной трассы. И как показали не очень сложные расчёты, сферичностью (кривизной) Земли можно пренебречь, если мы измеряем территории, площадь которых меньше, чем 380 квадратных километров. В этом случае, с неощутимой для практических целей погрешностью, фигуру Земли можно принять за **плоскость**. Другими словами, измеряя участки земной поверхности размером 20 км·20 км, мы, отбрасывая все сомнения, можем не засорять информационные ячейки наших мозговых извилин, которые нам ещё пригодятся в дальнейшем, геоидальными, эллиптическими и сферическими сложностями.

Сейчас, когда мы уяснили, что ножки штатива геодезического прибора углубляются не просто в землю, а в виртуальный её пласт, который, в зависимости от точностных приближений, можем называть либо геоидом, либо эллипсоидом, либо шаром, и, наконец, плоскостью, представляется возможным подразделить геодезическую науку на две основные ветви. Первая из них – это собственно *геодезия*, в этом случае её иногда называют топография, которая в строгом понимании не является синонимом слова геодезия. Но как бы там ни было, когда мы видим слово геодезия без сопровождающего прилагательного, мы понимаем, что речь идёт об измерениях, проводимых на небольших участках земной поверхности, которые мы принимаем как плоские. При математической обработке результатов таких измерений используются элементарные геометрические и тригонометрические формулы, известные нам из школьных учебников. Да и вообще, следует отметить, что большинство геодезических задач здесь решаются по каноническим алгоритмам аналитической геометрии на плоскости. Во второй ветви, ничего не поделаешь, друзья, к слову геодезия мы прибавим прилагательное *высшая* с единственной благородной целью подчеркнуть, что имеются и высшие материи, которые призвана измерять всё та же геодезия. В этом случае этими материями являются очень большие участки земной поверхности в частности, и даже вся планета Земля в целом, разумеется, с учётом её кривизны и других эллипсоидальных и геоидальных факторов. Именно методами высшей геодезии определили форму и размеры Земли, движение полюсов, смещение береговых линий и частей земной поверхности, изменение уровней морей и океанов и т.д. и т.п.

Остаётся только добавить, что в высшей геодезии все измерения приурочены не к плоскости, а к сфере, и поэтому в математическом плане здесь всецело применяется аппарат дифференциального и интегрального исчисления в приложении к пространственной атрибутике. Сразу же поспешу успокоить своих коллег, у которых наверняка учащённо забилось сердце от приведенной мною математической терминологии: в нашем курсе, который по-прежнему я называю введением в специальность, мы ограничимся только широким и разнообразным спектром того, что изучает «низшая» геодезия.

Из перечисленных двух ветвей зародился ещё один отросток, который сегодня, продолжая древесную аналогию, превратился в раскидистую крону, называемую *инженерной* или *прикладной геодезией*, другими словами, геодезией в приложении к чему-то. Этим приложением является широкий диапазон инженерных мероприятий, который включает проектирование и строительство промышленных, гидротехнических, энергетических и гражданских сооружений, железных и шоссейных дорог, прокладку нефтепроводов и газопроводов, планировку городских и сельских населённых пунктов, обеспечение сельскохозяйственных и земельнокадастровых работ. Этот список можно продолжать и продолжать. Однако уже с полной уверенностью можно заключить, что инженерная геодезия обслуживает точными измерениями практически все хозяйственные отрасли. Не надо обладать большой фантазией, чтобы понять, что первый колышек на любом инженерном объекте, не в образном, а самом прямом выражении, забивают не геологи, не строители, а именно геодезисты. Да и в самом деле, процессу любого проектирования предшествует составление топографической карты, на которой, собственно, и выполняются проектные работы. Следующим звеном сложной инженерной цепочки является строительство. А тут позвольте спросить, кто осуществляет перенос всего, что запроектировано на карте (зданий, сооружений, плотин, дорог и т.д.) на реальную местность? Ну, конечно же, геодезисты. А кто сопровождает и технологически обеспечивает строительство при возведении заводских корпусов, энергоблоков электростанций, трассирований линий метрополитена, шоссейных дорог и т.п.? Опять-таки, геодезисты. Даже, когда строительство завершилось, работа геодезистов не заканчивается. На основе различных геодезических методик они следят за надёжной и безаварийной эксплуатацией

воздвигнутых сооружений. Сегодня геодезические методы позволяют составить мониторинг прогноза землетрясений и выявить недопустимые вертикальные и горизонтальные смещения фундаментов уникальных сооружений. Трудно переоценить роль геодезии в картографировании как отдельных государств, так и всей Земли в целом. Без применения геодезических методов невозможно решение стратегических и тактических военных задач, в частности, координатная привязка ракетной техники и определение местоположения целей. Разумеется, я перечислил далеко не все области, где используются геодезические измерения, но уверен, что теперь мой читатель нисколько не сомневается, что древняя геодезическая наука равно, как и современные высокие технологии, пронизывает необходимыми измерениями практически все сферы человеческой деятельности.

Двумя предложениями ранее вы, дорогие читатели, возможно, не обратили внимание на два слова, которые, как правило, применяют в военном деле. Эти слова я выделяю курсивом: *стратегия* и *тактика*. В широком смысле они оптимизируют, как вы догадываетесь, некий переход из настоящего в желаемое будущее. В нашем случае настоящим является совсем небольшая крупица знаний в области геодезии, которую вы уже успели получить на первых страницах этой книги, а будущее – это ясное представление того, что же мы хотим приобрести, когда непременно доберёмся до последней страницы. Если перевести сказанное на доступный человеческий язык, то стратегию можно определить излюбленным вопросом русской интеллигенции – что делать? а тактику – младенческим вопросом – как делать? Итак, чего мы хотим достигнуть? Ранее было подчеркнуто, что важнейшей, чтоб не сказать фундаментальной, задачей геодезии является *составление карты*. Забегая немного вперёд, следует отметить, что процесс создания карты, главным образом, заключается в определении координат ( $x$ ,  $y$ ) точек местности (углы домов, столбы линий электропередач, пересечение дорог и т.д.) посредством геодезических измерений. Если это так, а это точно так, то, по сути дела, вся стратегия низшей геодезии прекрасно описывается простой формулой, которую мы чуть позже назовём *прямой геодезической задачей*. В несколько упрощённом виде эта формула представится элементарным выражением:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = f(\beta, D), \quad (1)$$

где  $x$  и  $y$  – координаты измеряемой точки;  $\beta$  – измеренный угол;  $D$  – измеренное расстояние;  $f$  – знак функциональной зависимости.

В приведенной формуле всего пять букв, однако именно они символизируют стратегию, которая провозглашает, что координаты точки являются некой функцией от измеренных углов и расстояний. В свою очередь, сам процесс измерений как углов, так и расстояний, безусловно, является тем, что мы называем словом тактика. Как видите, уважаемые господа, всё более чем просто: стратегия – что делать? – получать (вычислять) координаты точек; тактика – как делать? – измерять углы и расстояния. Итак, здесь мы впервые нарушаем индуктивный принцип (от частного к общему), положенный в традиционных учебниках, в которых от измерений переходят к координатам, отражая тем самым реальную действительность. Мы же, на самом деле, декларируем здесь дедуктивный метод обучения (от общего к частному) с единственной целью уже с первых шагов, если хотите, вдолбить читателю конечную цель и, только отталкиваясь от неё, переходить к частностям.

В заключение этой главы, когда мы уже знаем, что изучает геодезия и чем она занимается, мне хотелось бы рассмотреть её концепцию в расширенном ракурсе. В любом случае геодезия, как и любая наука, является отражением какого-то фрагмента окружающего мира. Когда много лет назад, ещё до нашей эры, разливающийся Нил затапливал свои берега, а потом вновь обнажал их, древние египтяне должны были снова и снова измерять свои участки земли и определять их границы. Позже древние греки описали этот процесс и назвали его геодезией. Из рутинной бытовой процедуры, по сути, зародилась наука, которую в разных источниках называют либо геодезией, либо геометрией. Это сегодня эти две смежные веточки, одна из которых называется *землеразделением*, а другая *землеизмерением*, считаются разными науками. Тогда же, подразумевая нечто общее, эти науки представлялись незыблемым принципом установления порядка и закона в мире. Вот так сложно и в то же время просто. Скажите, какая из современных наук может похвастаться такими глубокими корнями?

Электроника, программирование, робототехника? Пожалуй, только геодезия. И недаром древнегреческий философ Платон считал, что геодезия (геометрия) считается универсальным философским языком, он верил, что это отличный способ погружения в философскую медитацию. Поскольку под геодезией мы, прежде всего, понимаем измерения, то здесь уместно привести мнение современных философов. Они как раз и говорят, что «пытаться открывать законы и строить модели различных процессов и явлений, пока нет надёжных и строго обоснованных методов измерений – занятие совершенно бессмысленное и бесполезное, как бы полученные законы и модели ни были стройны и изящны». В нашем случае, именно геодезические измерения и являются, в полном соответствии с вышеприведенной философской фабулой, обоснованием и, если хотите, обеспечением вышеуказанных моделей, в роли которых здесь выступают различные инженерные, научные и технологические проекты.

Да и вообще, продолжая напевать дифирамбы геодезической науке, хотелось бы подчеркнуть, что современное опытное естествознание, начало которому было положено трудами Леонардо да Винчи, Галилея и Ньютона, своим расцветом обязано именно измерениям. Здесь следует вспомнить, провозглашённый Галилеем принцип количественного подхода, согласно которому описание физических явлений должно опираться только на величины, имеющие количественную меру. Именно этот принцип, в основе которого заложен сложный процесс измерений, и стал методологическим фундаментом не только естествознания, а и всего мирового прогресса. Вот так, дорогие коллеги, не больше и не меньше. И, наконец, отбросив словесные хитросплетения и сложности в сторону, заключим, в конечном итоге, что измерения – это совокупность действий, выполняемых при помощи определённых средств с целью нахождения числового значения измеряемой величины в принятых единицах. Определяющим здесь является понимание: для чего, что и чем измерять. Ответам на эти ключевые вопросы как раз и посвящены последующие страницы этой книги.

## ГЛАВА 2 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ АКСЕССУАРЫ

### Геодезический датум, системы координат, понятие о картографической проекции, концепция ориентирования направлений, прямая и обратная геодезические задачи, горизонтальное проложение линий

*Палатка, горы, звук гитары,  
Координатные системы.  
Есть на земле аксессуары  
И геодезии проблемы.*

В заголовке этой главы я использовал, возможно, «мудрёное» слово аксессуары, и отнюдь не потому, что захотел блеснуть лёгким французским прононсом. Скорее всего, в богатом русском языке не нашлось такого яркого слова, которое столь выразительно отражает принадлежности и детали, сопровождающие или сопутствующие чему-то главному. Главное, в нашем случае, это то, что мы изучаем, это геодезия, а одним из сопутствующих ей факторов, одним из аксессуаров, с которого мы, собственно, и начинаем наше повествование, является термин **геодезический датум**.

Сразу наберусь смелости заявить, что геодезический датум – это одно из самых расплывчатых понятий в современной геодезии. Попытаемся всё-таки постигнуть эту сложность и распутать это недопонимание пресловутого датума. Дело в том, что множество форумов в Интернете изобилуют вопро-

сами от пользователей современных GPS – навигаторов, связанных с геодезическим датумом. И эти самые пользователи этих самых навигаторов никак не могут понять, почему координаты какого-нибудь объекта, полученные посредством GPS, отличаются от координат того же объекта на топографической карте данной страны на десятки метров (теоретически эти отклонения могут достигать и более 100 метров). В предыдущей главе мы начали говорить о том, что в большинстве стран принят свой, так называемый, референц-эллипсоид (от лат. *reference* – вспомогательный). Все эти эллипсоиды различаются между собой, прежде всего, своей геометрией. Вполне понятно, что геометрические отличия в разных эллипсоидах (например, разные длины больших осей) порождают разные системы координат. Если представить себе, что на морских просторах какой-нибудь теплоход пересекает территориальные воды нескольких стран, геодезической основой картографирования которых являются разные эллипсоиды, и штурман этого теплохода, по мере его продвижения вперёд, поочередно использует карты этих стран, то возникает вероятность, что этот корабль могут подстеречь навигационные сложности. Ещё, к сожалению, современный мир постоянно сотрясают войны в различных регионах планеты. Современные военные технологии предусматривают передвижение различных ракетных носителей на значительные и обширные территории, охватывающие эллипсоиды множества стран. Именно по этим и другим причинам, так называемой глобализации, в 80-х годах прошлого столетия была введена всемирная геодезическая система - система координат 1984 года WGS-84 (*World Geodetic System*), которая представляет собой глобальную опорную систему математической модели Земли. Здесь следует подчеркнуть, что эта система охватывает всю планету. Сегодня в целях навигации и позиционирования именно WGS-84 пользуются в большинстве аэропортов мира. Поскольку к этой системе приклеен ярлык всемирная, то в отличие от большинства референц-эллипсоидов, она называется *геоцентрической*, т.е. начало её координат размещено в центре масс Земли. Да и вполне разумно и естественно, что точка привязки глобального эллипсоида должна находиться в центре планеты, а ось его вращения должна совпадать с осью вращения Земли. Теперь, друзья, после небольшого и не очень лирического отступления, в результате которого, я очень надеюсь, вы постиг-

ли, что в нашем бренном земном мире вращаются разные эллипсоиды, обитающие в разных координатных системах, вернёмся к тому, с чего мы начали. А начали мы с раскрутки понятия геодезический датум. Тороплюсь вам сообщить, коллеги, что по ходу моего отступления, мы это понятие уже практически раскрутили. Одним из видов геодезического датума и является глобальная система WGS-84, к которой, как правило, привязана система глобального позиционирования GPS. Этот датум, действительно, является глобальным, его цель – как можно более точно описать всю земную поверхность. А сейчас, коллеги, будьте внимательны: несмотря на то, что WGS-84 принято называть эллипсоидом, это, скорее, система координат или набор параметров, описывающих эллипсоид под названием GRS-80 (эллипсоид, принятый и рекомендованный для геодезических работ Генеральной ассамблеей Международной Ассоциации Геодезии и Геофизики), это (WGS-84), в конце концов, и есть геодезический датум названного эллипсоида (GRS-80). Таким образом, геодезическим датумом мы будем называть совокупность параметров, принадлежащих рассматриваемому эллипсоиду, и его привязку и ориентацию в теле Земли. Теперь становится понятно, что разные (локальные) референц-эллипсоиды формируют разные датумы. Например, геоцентрический датум (WGS-84) формирует систему отсчёта для определения местоположения объектов на всей поверхности Земли, а локальный датум ориентирует заданный референц-эллипсоид так, чтобы он наилучшим образом описывал поверхность Земли для какой-то конкретной территории. Наконец, чтобы окончательно отвергнуть все сомнения относительно геодезического датума, с некоторым упрощением, окончательно его определение: геодезический датум – это размеры принятого эллипсоида (большая полуось -  $a$ , малая полуось -  $b$ , полярное сжатие  $\frac{a-b}{a}$ ).

Внутри каждого геодезического датума закодирована система координат. Давайте разбираться, что это такое. *Координаты в геодезии* – это числа (величины), определяющие положение точки в пространстве или на плоскости. Сразу оговоримся, что под пространством мы будем понимать поверхность планеты, на которой мы живём. Чтобы чётко установить положение точки в этом пространстве, её необходимо привязать

зать к одной из *систем координат*, каждая из которых характеризуется своими геометрическими особенностями. Вот здесь и начинаются всякие тонкости, которые в традиционных учебниках тщательно затушёвываются сложностью пояснений. В каждом из них справедливо подчёркивается, что системы координат делятся на *географические, астрономические, геодезические и плоские (зональные)*, причём первые три системы, несомненно, относятся к поверхности сферы. Неразбериха заключается в трудностях чёткого и обоснованного различия между этими системами. Попробуем «зарубить» не столько на носу, сколько в подсознании, а ещё лучше в ясном и полном сознании, что положение точки всегда определяется относительно некоторой исходной базисной поверхности. И если таким исходом принимается (вспоминаем уже изученные модели фигуры Земли):

- поверхность геоида, то мы говорим об астрономических координатах;
- поверхность эллипсоида, то мы подразумеваем геодезические координаты;
- поверхность шара, то мы (с некоторым упрощением) рассматриваем географические координаты;
- плоскость, то мы работаем с известными вам прямоугольными координатами.

Неплохо запомнить, а ещё лучше понять, что в первых трёх системах координатами являются знакомые вам ещё из школьного глобуса, испещрённого меридианами и параллелями, *широта и долгота точки земной поверхности*. И что во всех этих случаях исходными для отсчёта широты является плоскость экватора, а для долготы – плоскость начального меридиана. Отметим только, что начальным меридианом мы называем воображаемую линию, соединяющую северный и южный полюса земного шара или эллипсоида, которая проходит через точку во дворе королевской обсерватории (город Гринвич, Англия). Перечисленное является общими параметрами всех трёх систем координат. А теперь о различиях. В астрономической системе координат основным геометрическим критерием является *отвесная линия* к данной точке геоида (рис. 2, рис. 4), в геодезической системе координат – *нормаль (перпендикуляр)* к поверхности эллипсоида в данной точке (рис. 2, рис. 3) и в географической системе координат – *радиус*, проведённый к данной точке сферы (шара). И, в-третьих, нако-

# Содержание

**Слово к читателю ..... 4**

## **Глава 1**

**Что такое геодезия. Определение, понятия, концепция, стратегия, тактика и философия ..... 8**

## **Глава 2**

### **Геодезические аксессуары**

Геодезический датум, системы координат, понятие о картографической проекции, концепция ориентирования направлений, прямая и обратная геодезические задачи, горизонтальное проложение линий ..... 18

## **Глава 3**

### **Топографические индикаторы**

Что такое топография, топографические карты, масштабы карт и их точность, условные знаки, изображение рельефа, нахождение высот на картах, построение профиля местности, определение координат и углов ориентирования по карте ..... 40

## **Глава 4**

### **Геодезиометрия, или что измеряют в геодезии**

Угловые измерения, линейные измерения, точность измерений, геодезические инструменты ..... 58

## **Глава 5**

### **Третья координата, или определение высот точек земной поверхности**

Третья координата точек земной поверхности.  
Сущность, способы и точность нивелирования.

Геометрическое нивелирование.

Тригонометрическое нивелирование ..... 75

## **Глава 6**

### **Топографическая съёмка местности**

Понятие о картографировании и топографической съёмке. Виды топографических съёмок.

Наземная топографическая съёмка.

Аэрофотосъёмка ..... 84

## **Глава 7**

### **Фундамент карты, или опорные геодезические сети**

Что такое опорная геодезическая сеть.

Методы создания плановой геодезической опоры.

Методы создания высотной геодезической опоры .... 114

## **Глава 8**

### **Геоинформационные и навигационные системы**

Понятие о географических информационных системах (ГИС). Общие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) .....

137

**Заключение ..... 170**

*Перечень ссылок на рисунки в сети интернет,*

*использованные в тексте книги ..... 172*